

PAT-NO: JP02003094174A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2003094174 A

TITLE: METHOD FOR FRICTION STIR WELDING

PUBN-DATE: April 2, 2003

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TANAKA, SUNAO	N/A
KUMAGAI, MASAKI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SUMITOMO LIGHT METAL IND LTD	N/A

APPL-NO: JP2001290745

APPL-DATE: September 25, 2001

INT-CL (IPC): B23K020/12

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method capable of advantageously and easily obtaining a good end face of a welding part by adding devices to the starting form and the ending form of the operation of friction stir welding in providing a welding material by the friction stir welding.

SOLUTION: A tab sheet which is harder than sheet-like members 2a and 2b or has the same hardness as them is made to abut on the end face on the welding starting side of an abutting part 8 of the sheet-like members 2a and 2b. The insertion position of a pin 4 of a rotary tool 6 at starting of the friction stir welding is set so that the distance between the end faces of the sheet-like members 2a and 2b on the welding starting side and the tip part of the pin 4 is 3 mm or less. The end face on the welding ending side is harder than the sheet-like members 2a and 2b or has the same hardness as them. The tab sheet 30 in which a semiannular or U-shaped recess 32 whose depth is the radius of the pin 4 or more and the radius of the rotary tool 6 or less is provided is made to abut on the opposed position to the abutting part 8 of the sheet-like members 2a and 2b. After the rotary tool 6 reaches the tab sheet from the abutting part 8 through the recess, the friction stir welding is finished.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-94174

(P2003-94174A)

(43) 公開日 平成15年4月2日 (2003.4.2)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

B 2 3 K 20/12

識別記号

3 1 0

F I

B 2 3 K 20/12

データベース(参考)

3 1 0 4 E 0 6 7

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-290745(P2001-290745)

(22) 出願日 平成13年9月25日 (2001.9.25)

(71) 出願人 000002277

住友軽金属工業株式会社

東京都港区新橋5丁目11番3号

(72) 発明者 田中 直

東京都港区新橋5丁目11番3号 住友軽金属工業株式会社内

(72) 発明者 熊谷 正樹

東京都港区新橋5丁目11番3号 住友軽金属工業株式会社内

(74) 代理人 100078190

弁理士 中島 三千雄 (外1名)

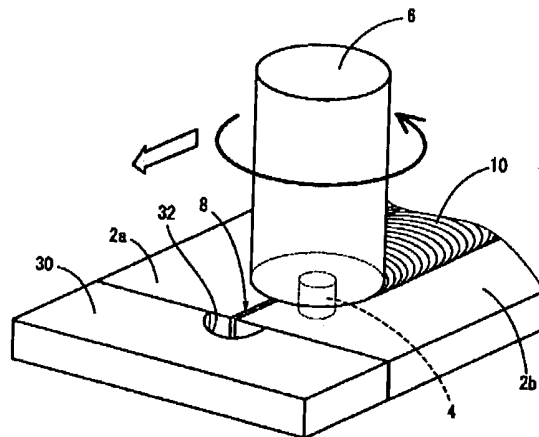
Fターム(参考) 4E067 AA05 BG00 DA13 DA17 DC07  
DD02

(54) 【発明の名称】 摩擦攪拌接合方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 摩擦攪拌接合にて接合材を得るに際して、摩擦攪拌接合操作の開始形態や終了形態に工夫を加えることにより、健全な接合部端面を有利に、且つ簡単に実現し得る方法を提供すること。

【解決手段】 板状部材2a、2bの突合せ部8のうち、接合開始側の端面に対しては、板状部材2a、2bよりも硬質若しくは同様な硬さのタブ板を当接せしめると共に、摩擦攪拌接合開始時の回転治具6のピン4の差込位置を、接合開始端側の板状部材2a、2bの端面とピン4の先端部との距離が3mm以下となるようにする。また、接合終端側の端面に対しては、板状部材2a、2bよりも硬質若しくは同様な硬さをもち、板状部材2a、2bの突合せ部8に対向する部位に、ピン4の半径以上、回転治具6の半径以下の凹陥深さを有する半円形乃至はU字形の凹所32を設けたタブ板30を当接せしめ、回転治具6が突合せ部8から凹所32を経てタブ板に達した後、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられるようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合開始側の端面に対して、それら板状部材よりも硬質の若しくは同様な硬さのタブ板を当接せしめる一方、かかる接合開始時における回転治具のピンの差込位置が、前記接合開始側の板状部材端面と前記ピンの先端部における最先端位置との間の距離が3mm以下となるようにして、かかる摩擦攪拌接合操作を開始するようにしたことを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

【請求項2】 接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合終端側の端面に対して、それら板状部材よりも硬質の若しくは同様な硬さのタブ板を当接せしめると共に、該タブ板の前記突合せ部に対向する部位に、前記ピンの半径以上、前記回転治具の半径以下の凹陥深さを有する半円形乃至はU字形の凹所を設け、前記回転治具が前記突合せ部から該凹所を経て該タブ板に達した後、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられるようにしたことを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

【請求項3】 接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合終端側の端面に対して、それら板状部材よりも硬質の若しくは同様な硬さのタブ板を当接せしめると共に、該タブ板の前記突合せ部に対向する部位に、前記ピンの直径以上、前記回転治具の直径以下の幅と、前記ピンの半径以上、前記回転治具の半径以下の凹陥深さを有する矩形の凹所を設け、前記回転治具が前記突合せ部から該凹所を経て該タブ板に達した後、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられるようにしたことを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

【請求項4】 接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合終端側の端面に対して、それら板状部材と同様な硬さの材質のタブ板を当接せしめ、その状態において、前記回転治具

が前記突合せ部から該タブ板に達するまで、摩擦攪拌接合操作を実施した後、該回転治具を形成された接合部から引き抜き、そして該回転治具の回転方向を逆方向とした後、該接合部の、前記突合せ部の接合終端面位置から前記突合せ部の接合開始端側に5mm以上の距離をもって該回転治具が位置するような部位に、該逆方向回転の回転治具のピンを差し込み、前記タブ板に達するように再度の摩擦攪拌接合操作を実施し、該回転治具の後方肩部が前記板状部材と前記タブ板との境界を通り過ぎるまで、かかる摩擦攪拌接合操作を継続せしめることを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

【請求項5】 前記摩擦攪拌接合操作が終了せしめられた後、前記二つの板状部材の接合体から前記タブ板が取り除かれ、そして該接合体の接合部端面で突出するメタルが、グラインダー等の切削機にて除去される請求項1乃至請求項4記載の摩擦攪拌接合方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【技術分野】本発明は、摩擦攪拌接合方法に係り、特に、摩擦攪拌接合によって形成される接合部における接合端部の端面健全化方法に関するものである。

## 【0002】

【背景技術】近年、摩擦熱を利用して板を突合せ接合する方法の一つとして、米国特許第5460317号明細書や特表平7-505090号公報等に明らかにされている如き、摩擦攪拌接合法(Friction Stir Welding)が、入熱が少なく、また接合部の強度低下や歪みの少ない接合方法として、注目を受けている。

【0003】そして、そのような摩擦攪拌接合方法は、具体的には、図1に例示されている如く、接合されるべき2枚の板材2a、2bよりも硬い材質のピン4を先端中心部に設けてなるロッド状の回転治具6を用い、この回転治具6を高速回転せしめつつ、その先端のピン4を、2枚の板材2a、2bの突合せ部8の部位に差し込み、相対的に該突合せ部8に沿って移動せしめることにより、それら回転せしめられるピン4や回転治具6と板材2a、2bとの間に、摩擦熱を発生せしめ、そしてその摩擦熱にて、突合せ部8の周辺部位を塑性加工可能な状態と為し、更にピン4の高速回転による攪拌作用にて、板材2a、2bの突合せ部位(8)の組織を入り交わらせ、以て溶融せしめることなく、2枚の板材2a、2bを接合せしめるものである。

【0004】ところで、このような摩擦攪拌接合法に基づくところの接合開始時においては、回転治具6が、その肩部(ショルダー部)が接合されるべき板材2a、2bの端面より3mmを超える長さにおいて離れて入り込んだ位置において、板材2a、2bの板面に接触するように、板材2a、2bの突合せ部8に差し込まれて、摩擦攪拌接合操作が開始され、そして、突合せ部8に沿って

て、図示の如く、矢印方向に移動せしめられることによって、かかる回転治具6の後方側に、接合部10が形成されるようになっている。そのような入り込んだ位置から接合する理由は、回転治具6の回転により攪拌されたメタルが接合されるべき板材2a、2bの端面から洩れることによる、接合部10における接合欠陥の発生を防止することにある。

【0005】このため、図1にも示されている如く、接合されるべき二つの部材2a、2bの突合せ部8の接合開始端側の部分が、或る程度の長さ亘って、未接合部12として、二つの板材2a、2bが接合されてなる接合体内に存在することとなるのである。そして、そのような未接合部12の処理のため、摩擦攪拌接合操作が終了した後、接合体における未接合部12部分の切断を行ったり、或いは、溶融溶接による手直しが施されることとなるのであるが、それらの後処理は、非経済的のみならず、溶融溶接の熱影響による歪みの発生や、軟化といった問題を、新たに惹起せしめることとなる。

【0006】一方、摩擦攪拌接合操作の接合終了時においても、上記した接合開始時と同様に、板材2a、2bの突合せ部8の接合終了端側の端面から10mm以上余した位置（端面とショルダー部との間の距離）において、回転治具6を引き抜いて、終了せしめている。その理由は、回転治具6の回転により攪拌されたメタルが接合体の端面から漏れることによる、接合部における接合欠陥の発生を阻止することにある。そして、それにより、二つの板材2a、2bの突合せ部8に形成される接合部10が、二つの板材2a、2bの端面に至ることはなく、接合部10の最終尾部と板材端面との間の所定長さ部分に位置する突合せ部8が、未接合部（12）として残り、そのため、接合操作の終了後において、そのような未接合部（12）の存在部分を切断したり、或いは、そのような未接合部（12）を溶融溶接することからなる手直しが施されているのであるが、それらの後処理は、非経済的のみならず、溶融溶接の熱影響による歪みの発生や軟化といった問題があり、更に、回転治具6を引き抜いた後のピン穴が、凹みとして残存する不具合も内在するものであった。

【0007】尤も、そのような摩擦攪拌接合操作における接合開始時や接合終了時に惹起される上記不具合を解消すべく、例えば、二つの板材2a、2bの突合せ部8における接合開始端側の端面や、接合終了端側の端面に対して、それぞれ適当なタブ板を当接せしめ、回転治具6を一方のタブ板に差し込んで、接合操作を開始せしめ、そして、突合せ部8に入り込ませて、突合せ部8を全長に亘って通過させた後、他方のタブ板まで至らしめた後、回転治具6を引き抜く手法の採用が考えられるものの、そのような手法にあっては、両端のタブ板が、二つの板材2a、2bの両端面に対して接合せしめられることとなるところから、それらタブ板の切断除去に手間

がかかると共に、その切断除去に際して、接合部10の切断面が二つの板材2a、2bの突合せ部8内に入り込んだ形態において、タブ板が除去される場合にあっては、接合体における接合部10の強度の問題が発生し、また、端面の手直しの等の作業が新たに発生するという問題も内在することとなる。

【0008】また、特開2000-42759号公報においては、接合終了時の上記不具合を解消する方法として、接合終了部分に、予め捨て肉部を設けて、その捨て肉部に回転治具を逃がし、その後、かかる捨て肉部を切断除去せしめることにより、回転治具引き抜き後の穴や凹部を生じさせない摩擦攪拌接合方法が提案されている。しかしながら、そのような方法では、接合されるべき部材に捨て肉部を特別に設ける必要があるところから、そのような捨て肉部を加工するための手間が必要となることに加えて、材料コストや、その切断除去工程のコストが必然的に掛かることとなり、十分に実用的なものではないのである。

【0009】さらに、特開2000-42762号公報においては、パイプ同士の摩擦攪拌接合において、接合部に配置した当て部材に回転治具を逃がすことにより、回転治具引き抜き後の穴や凹部を生じさせないようにした方法が、明らかにされている。この方法では、接合材と当て部材の界面において、攪拌されたメタルの影響によって、接合材から当て部材を簡単には取り外すことが出来ない問題があり、このため、力任せに当て部材を外した場合にあっては、当て部材部分が残し、その後の修正が面倒となったり、或いは接合体部分が剥ぎ取られて、欠陥となったりして、健全な接合品を得る上で、好ましい方法といえるものではないのである。

【0010】

【解決課題】ここにおいて、本発明は、かかる事情を背景にして為されたものであって、その解決課題とするところは、摩擦攪拌接合の開始形態や終了形態に工夫を加えることにより、健全な接合部端面を、有利に、且つ簡単に実現し得る方法を提供することにある。

【0011】

【解決手段】そして、本発明にあっては、かかる課題のうち、摩擦攪拌接合操作での接合開始時における問題を解消し、接合開始端側の健全な接合部端面を実現すべく、接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合開始端側の端面に対して、それら板状部材よりも硬質の若しくは同様な硬さのタブ板を当接せしめる一方、かかる接合開始時における回転治具のピンの差込位置が、前記接合開始端側の板状部材端面と前記ピンの先端部における最先端位置との間

の距離が3mm以下となるようにして、かかる摩擦攪拌接合操作を開始するようにしたことを特徴とする摩擦攪拌接合方法を、その要旨とするものである。

【0012】また、本発明にあっては、摩擦攪拌接合操作での終了時において、接合終了端側における健全な接合部端面を実現すべく、接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合終端側の端面に対して、それら板状部材よりも硬質の若しくは同様な硬さのタブ板を当接せしめると共に、該タブ板の前記突合せ部に対向する部位に、前記ピンの半径以上、前記回転治具の半径以下の凹陥深さを有する半円形乃至はU字形の凹所を設け、前記回転治具が前記突合せ部から該凹所を経て該タブ板に達した後、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられるようにしたことを特徴とする摩擦攪拌接合方法を、その要旨とするものである。

【0013】さらに、本発明は、摩擦攪拌接合操作の終了時における、上記と同様な課題の解決を図るべく、接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合終端側の端面に対して、それら板状部材よりも硬質の若しくは同様な硬さのタブ板を当接せしめると共に、該タブ板の前記突合せ部に対向する部位に、前記ピンの直径以上、前記回転治具の直径以下の幅と、前記ピンの半径以上、前記回転治具の半径以下の凹陥深さを有する矩形の凹所を設け、前記回転治具が前記突合せ部から該凹所を経て該タブ板に達した後、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられるようにしたことを特徴とする摩擦攪拌接合方法をも、その要旨とするものである。

【0014】加えて、かかる摩擦攪拌接合操作の終了時における課題を解決するための、本発明の更に異なる他の要旨とするところは、接合されるべき二つの板状部材を突き合わせ、その突合せ部に対して、ロッド状の回転治具の先端に同心的に設けたピンを、該回転治具と共に一体に回転させつつ差し込み、相対的に移動させることにより、かかる突合せ部を摩擦攪拌接合せしめるに際し、該二つの板状部材における、前記突合せ部の接合終端側の端面に対して、それら板状部材と同様な硬さの材質のタブ板を当接せしめ、その状態において、前記回転治具が前記突合せ部から該タブ板に達するまで、摩擦攪拌接合操作を実施した後、該回転治具を形成された接合部から引き抜き、そして該回転治具の回転方向を逆方向とした後、該接合部の、前記突合せ部の接合終端面位置

から前記突合せ部の接合開始端側に5mm以上の距離をもって該回転治具が位置するような部位に、該逆方向回転の回転治具のピンを差し込み、前記タブ板に達するように再度の摩擦攪拌接合操作を実施し、該回転治具の後方肩部が前記板状部材と前記タブ板との境界を通り過ぎるまで、かかる摩擦攪拌接合操作を継続せしめることを特徴とする摩擦攪拌接合方法にある。

【0015】そして、上述せる如き各種の摩擦攪拌接合方法に従って得られた、前記二つの板状部材の接合体にあっては、回転治具による未接合部を存在させることなく、実質的に全体に亘って完全に接合、一体化せしめられているのであるが、タブ板は、そのような接合体から、手、あるいは木槌等にて叩くことによって、簡単に折り取ることが可能であり、それ故に、摩擦攪拌接合操作の終了の後の接合体に対する仕上げ作業が簡単となることに加えて、接合部の折り取られた部分も奇麗であって、割れや切欠き等の欠陥が、接合体側の接合部内に入り込む等の問題も、悉く解消せしめられ得ることとなったのである。

【0016】なお、かくの如き本発明に従う摩擦攪拌接合方法にあっては、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられた後、前記二つの板状部材の接合体から前記タブ板が取り除かれた後、接合体の接合部端面で突出するメタルが、グラインダー等の切削機にて除去せしめられることとなる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ、本発明の構成について、更に具体的に明らかにすることとする。

【0018】先ず、図2には、摩擦攪拌接合操作における接合開始端側の一つの状態が示されている。そこにおいて、本発明に従う摩擦攪拌接合操作に用いられる、ピン4を先端部に同心的に設けてなるロッド状の回転治具6としては、従来と同様なものが用いられ、それぞれ接合されるべき二つの板状部材2a、2bの材質よりも硬い材料を用いて形成されており、そのため、それらピン4や回転治具6が高速回転せしめられて、二つの部材2a、2bの突合せ部8に差し込まれたり、それら板状部材2a、2bの上面に、回転治具6の下部（ショルダー部）が接触せしめられても、殆ど損耗することない非消費型の部材とされている。なお、かかるピン4及び回転治具6の軸心周りの高速回転は、従来と同様な回転駆動装置（図示せず）を用いて、容易に実現され得るものである。また、ピン4は、図3にも示される如く、従来と同様に、その軸心が法線に対して接合進行方向において角度： $\theta$ をもって後傾する形態において、相対的に移動せしめられ、以て接合が進行せしめられるようになって

【0019】そして、図2においては、アルミニウム若しくはその合金等からなる公知材質の二つの板状部材2

a, 2bにおける突合せ部8の接合開始端側の端面に対して、タブ板20が、その一つの端面において当接せしめられて、それら二つの板状部材2a, 2bと共に位置固定に保持され、摩擦攪拌接合操作が実施されるようになっているのである。また、かかるタブ板20は、板状部材2a, 2bよりも硬質の材料にて形成され、或いは、それら板状部材2a, 2bと同様な硬さの材料にて形成されているのであって、これにより、摩擦攪拌接合後に、タブ板20の除去が、容易に行われ得ようになっている。なお、このタブ板20が、接合されるべき板状部材2a, 2bよりも軟質となると、タブ板20のメタルも攪拌されて、それらタブ板20と板状部材2a, 2bとが強固に接合せしめられるようになるのである。

【0020】また、そのようなタブ板20の板厚としては、板状部材2a, 2bと同様な板厚とされる他、タブ板20の上面の高さが、板状部材2a, 2bの上面の高さの7割以上の高さにおいてセットし得るような厚さとされることとなる。なお、タブ板20の上面の高さが、接合されるべき二つの板状部材2a, 2bの上面の高さの7割未満となると、端部から湧き出るメタルを押さえるタブ板20の役目を為さず、タブ板20と板状部材2a, 2bとの板厚差の部分からメタルが湧き出してしまう問題があり、また、タブ板20の上面が、板状部材2a, 2bの上面よりも高くなると、摩擦攪拌接合操作により、タブ板20を優先的に攪拌してしまい、接合が困難となる問題を惹起する。

【0021】なお、かかる図2においては、回転治具6のピン4が差し込まれる接合開始点から、回転治具6が突合せ部8に沿って少し移動し、摩擦攪拌接合操作が少し進んで、接合部10が接合開始部位から延びている状態が示されているが、本発明にあっては、そのような回転治具6におけるピン4の、接合開始時における差込位置が、接合開始端側の板状部材2a, 2bの端面とピン4先端部における最先端位置との間の距離が3mm以下となるように設定されて、摩擦攪拌接合操作を開始するようにしているのである。なお、この際、ピン4の差込位置は、タブ板20上には設定されないようになっている。

【0022】具体的には、図3の(a)及び(b)に示されるように、回転治具6のピン4が突合せ部8に差し込まれたとき、かかるピン4の先端部における最先端位置、即ち図3(a)においては、ピン先端部における左端位置と、板状部材2a, 2bの端面との間の距離: xが3mm以下となるようにして、摩擦攪拌接合操作が開始せしめられるのであり、これによって、回転治具6の回転により、攪拌されたメタルが外部に漏れるのを効果的に抑制乃至は阻止しつつ、接合開始端側における未接合部の発生を効果的に回避乃至は抑制して、接合部10の形成が有利に実現せしめられ得ることとなるのである。なお、かかる板状部材2a, 2b端面と、ピン4先端部

における最先端位置との間の距離: xが、3mmを超えるようになると、接合開始端側部分の攪拌が不十分となり、未接合部(12)を惹起せしめたり、或いは欠陥を内在する接合部10が生じたりする問題を発生させることとなる。

【0023】ここで、回転治具6のピン4の形状としては、図3(a)に示される如き台形形状の他、先端部が丸められた各種の形状も採用され得るところから、ピン4の先端部における最先端位置は、図3(b)に示される如く、ピン4の傾斜操作状態も考慮して、摩擦攪拌接合操作におけるピン4の最先端の位置とし、これと板状部材2a, 2b端面との間の距離が、前記xとして、その値が3mm以下となるようにして、前記摩擦攪拌接合操作が開始せしめられることとなる。

【0024】また、回転治具6のピン4の挿入深さとしては、ピン4の先端から板状部材2a, 2bの裏面までの距離: dが1mm以下となるようにして、摩擦攪拌接合を行うようにすることが望ましく、それは、特に、板状部材2a, 2bの板厚が2mm以上の場合において有効である。なお、裏面からの距離が1mmを超えると、回転治具6のピン4による攪拌作用が、板状部材2a, 2bの厚さ全体に行き渡らず、その裏面近傍において、欠陥のある接合部が発生する問題が惹起され易くなる。

【0025】そして、かくの如き接合開始時においては、図3にも示される如く、回転治具6の肩部がタブ板20の側にはみ出し、そのような肩部によって、接合開始端側の板状部材2a, 2b部分を攪拌する効果も発揮され得るようになるために、より良い攪拌が実現され得ることとなるのであり、以て、欠陥のない健全な接合部が端部に形成されることとなるが、特に、そのような回転治具6の肩部による攪拌作用は、板状部材2a, 2bの板厚が2mmよりも薄い場合において、より一層有効に発揮せしめられ得るのである。

【0026】ところで、本発明は、また、摩擦攪拌接合操作の終了時においても、タブ板と回転治具の使用態様に工夫を加えることによって、前記した従来の問題を有利に解消し得るようにしたものでもあって、その一例が、図4に示されている。

【0027】すなわち、図4においては、二つの板状部材2a, 2bにおける突合せ部8の接合終端側の端面に対して、それら板状部材2a, 2bよりも硬質であるか、或いはそれと同様な硬さのタブ板30が、その一つの端面(側面)において、当接せしめられ、位置固定に保持されている。また、かかるタブ板30の突合せ部8に対向する部位には、所定の凹陥深さを有する半円形の凹所32が、設けられている。そして、回転治具6が、突合せ部8から、そのような凹所32を経て、タブ板30に到達した後、タブ板30から回転治具6が引き抜かれることにより、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられる

ようにされるのである。

【0028】なお、このような摩擦攪拌接合操作における接合終端側に配されるタブ板30に設けられる凹所32としては、図5(a)や(b)に示される如く、半円形状のもの他、U字形状のものが採用され得るが、それら形状の凹所32の凹陥深さ:  $y$  としては、回転治具6におけるピン4の半径以上、該回転治具6の半径以下の値を有するものであって、このような凹所32を通して、回転治具6を、突合せ部8からタブ板30上に導くようにすることによって、摩擦攪拌接合操作の終了後におけるタブ板30の取り除き作業が、有利に行われ得ることとなるのである。

【0029】すなわち、そのような凹所32の存在によって、二つの板状部材2a, 2bのピン4による金属の攪拌を一旦終了させる効果があるのであるが、そのような凹所32が、回転治具6の半径よりも深い凹陥深さとなると、金属の湧き出しが多くなって、端部に欠陥が発生する問題がある。また、そのような凹所32の設けられていない、或いはピン4の半径よりも浅い凹陥深さ( $y$ )の凹所32が設けられても、板状部材2a, 2bとタブ板30との間での攪拌が惹起され、それらの材質が混合された金属からなる接合部が、端部に形成されてしまう問題があり、そして、タブ板30よりも板状部材2a, 2bが軟質或いはほぼ同じ硬さであるところから、タブ板30を、それら二つの板状部材2a, 2bの接合体から取り除く際に、かかる接合体側で割れ易くなってしまふ問題があるからである。

【0030】なお、かかる半円形状乃至はU字形状の配設位置としては、二つの板状部材2a, 2bの突合せ部8の延長線上に、そのような凹所32の中心線が位置せしめられる形態が有利に採用され、これによって、ピン4による金属の攪拌作用の一時的な終了効果が、有利に実現されることとなるのである。

【0031】尤も、かかる凹所32としては、図5の(a)に示される半円形状や、(b)に示されるU字形状のほか、図6に示される如き矩形形状を呈する凹所32構造も、採用可能である。

【0032】そして、かかる矩形形状の凹所(切り欠き)32としては、その凹陥深さ:  $y$  が、ピン4の半径以上、回転治具6の半径以下の値とされると共に、凹所32の幅:  $z$  としては、ピン4の直径以上、回転治具6の直径以下の値となるように、タブ板30に形成され、二つの板状部材2a, 2bの突合せ部8に対向せしめられるのである。なお、そのような凹所32の凹陥深さ:  $y$  や幅:  $z$  が、上記した寸法未満であると、タブ板30の金属が端部に混合されてしまい、タブ板30を取り除く際に、接合体(2a, 2b)側において割れ易くなってしまふ問題があり、また、それらの寸法を超えた場合にあっては、凹みによる空間部に板状部材2a, 2bの金属が湧き出し易くなり、そのために、肉不足或いは欠陥を内在する接合端部となってしまう問題が惹起されるのである。

【0033】さらに、図7に示される摩擦攪拌接合操作における接合終了側端部の形成に際しては、まず、二つの板状部材2a, 2bにおける突合せ部8の接合終端側の端面に対して、それら板状部材2a, 2bと同様な硬さのタブ板40が、その一つの端面(側面)において当接せしめられ、その状態を固定せしめた形態において、回転治具6が突合せ部8に沿って移動せしめられ、かかる突合せ部8からタブ板40上に達するまで、摩擦攪拌接合操作が実施される。そして、回転治具6がタブ板40上に達した後、そこに形成された接合部10から回転治具6が引き抜かれるのである。なお、接合部10は、二つの板状部材2a, 2bから、タブ板40上に至るように形成されることとなる。なお、このように、回転治具6を、二つの板状部材2a, 2bの突合せ部8から、タブ板40上にまで効果的に到達させるために、それら二つの板状部材2a, 2bの上面高さとタブ板40の上面高さの差は1mm以内とすることが望ましく、これに反して、1mmを超える高さの差が存在する場合にあっては、タブ板40と板状部材2a, 2bとの境目における攪拌が不均一となって、欠陥を生じる原因となるおそれがある。

【0034】次いで、かかる引き抜かれた回転治具6は、先の回転方向とは逆方向に回転せしめられるようにされた後、先に形成された接合部10の突合せ部8の接合終端面(板状部材2a, 2bの端面)位置から、突合せ部8の接合開始端側に5mm以上の距離をもって、換言すれば、図7におけるタブ板40と回転治具6との距離:  $L$  が5mm以上となるような距離において、回転治具6(ピン4)が再び接合部10に差し込まれ、そして、タブ板40に達するように、再度の摩擦攪拌接合操作が、回転治具6の逆方向回転状態の下において、実施されるのである。そして、そのような回転治具6の後方肩部が、板状部材2a, 2bとタブ板40との境界を通り過ぎるまで、従って回転治具6が完全にタブ板40上に位置するようになるまで、かかる摩擦攪拌接合操作が継続せしめられるのであり、そして、その後、回転治具6がタブ板40から引き抜かれることによって、摩擦攪拌接合操作が終了せしめられるのである。

【0035】なお、かかる逆方向回転の回転治具6のピン4が差し込まれる位置が $L$ : 5mmに満たない接合部10に対して、ピン4の差し込みが実施され、再度の摩擦攪拌接合操作が実施される場合にあっては、タブ板40と板状部材2a, 2bとの境目に近くなり過ぎて、かかる境目における両者の金属の混合が過度となり、そのようなタブ板40と接合体2a, 2bとの離脱に際して、その境目にて奇麗に割ることが困難となるのである。また、かかる逆回転の回転治具6による再度の摩擦攪拌接合操作にて、そのような境目を通過させることに

より、該境目のメタルにメタルフローの界面が発生し、その部分において割れ易くなり、以て接合体(2a, 2b)の端面の健全性の向上に、著しく寄与せしめ得ることとなるのである。

【0036】また、上記の何れの方法においても、タブ板20, 30, 40は、手或いは木槌等で、簡単に折り取ることが可能であり、以て、健全な端部が有利に実現され得るのであるが、また、必要に応じて、そのようなタブ板を取り除いた後、端面に湧き出したメタルをグラインダー等の切削機にて切削除去せしめ、端面を仕上げることも、本発明においては、有利に採用されることとなる。図8には、図6に示されるタブ板30を用いて摩擦攪拌接合して得られた接合体より、タブ板30を折り取り、その端部に形成される突出部(メタル)34を、グラインダー等によって切削して、端面を仕上げて、目的とする接合体を得る形態が示されている。

【0037】そして、かくの如き摩擦攪拌接手法にて得られる接合体の端部端面が、効果的に健全化せしめられることにより、本発明は、例えば、アルミニウム合金の板材や押出し材等の展伸材や鋳物を接合し、アルミニウム合金の大型材を製造する技術に有利に適用され得るのであり、また、そのようにして得られた接合材は、鉄道車両行体や自動車の外板、サブフレーム及びホイール等の部材に適しており、アルミニウム合金の大型材の接合に有利に採用され得て、その特徴を発揮するものである。

#### 【0038】

【実施例】以下に、本発明の実施例を示し、本発明を更に具体的に明らかにすることとするが、本発明が、そのような実施例の記載によって何等の制約をも受けるものでないことは言うまでもないところである。また、本発明には、以下の実施例の他にも、更には上記した具体的構成以外にも、本発明の趣旨を逸脱しない限りにおいて、当業者の知識に基づいて種々なる変更、修正、改良等を加え得るものであることが理解されるべきである。

#### 【0039】実施例 1

板厚：4mm、板幅：300mm、長さ：5000mm、材質：6N01-T5のアルミニウム合金押出型材の2枚を供試材として用い、それらの板幅方向に対向する側面を突き合わせて、テーブル上に固定せしめた。また、それら突き合わされた2枚の供試材の接合開始側の端部には、板厚：3.5mm(供試材板厚に対して87.5%)、サイズ：50mm×50mmの鋼板(材質：SS40)をタブ板として用いて、図2に示される如く突き合わせて、テーブル上に固定せしめた。

【0040】一方、回転治具としては、肩径：17mm、ピン長さ(高さ)：3.9mm、ピン径：3mmのものを用い、回転数：3000rpm、速度：500mm/分の接合条件下において、摩擦攪拌接合を実施した。なお、回転治具先端に設けたピンを、供試材の突き合せ部に挿入し

た際のピン先端部における最先端位置と接合開始端側の供試材端面(供試材とタブ板との当接面)との間の距離：xを3mmとして、差し込み、かかる摩擦攪拌接合操作を開始した。

【0041】その結果、回転治具は、タブ板(鋼板)に接触することなく回転し、また、2枚の供試材を接合して得られた接合材(接合体)においては、その接合開始端部から、外観上においても、健全な接合部となっていることを認めた。更に、かかる得られた接合材の頭部の引張試験を行ったところ、その引張強さは198MPa、継手効率81%と健全であり、接合部の断面マクロ組織の観察結果からしても、接合頭部において亀裂やトンネルボアー等の欠陥はなく、健全な接合部であることを認めた。

#### 【0042】実施例 2

板厚：1.8mm、板幅：72mm、長さ：300mm、材質：5454-Oのアルミニウム板材の2枚を供試材として用い、それらを幅方向に突き合わせて、摩擦攪拌接合を施すためのテーブル上に固定せしめた。また、それら供試材の接合開始側の端部には、板厚：1.3mm(供試材板厚の72%)、サイズ：50mm×50mmの鉄板をタブ板として用いて突き合わせ、供試材と同様にテーブル上に固定せしめた。

【0043】回転治具として、肩径：15mm、ピン長さ：1.7mm、ピン径：4mmのものを用い、回転数：1500rpm、速度：300mm/分の接合条件の下において、摩擦攪拌接合操作を実施した。なお、回転治具の先端部のピンを供試材の突き合せ部に挿入した際に、かかる回転治具の肩部がタブ板側にはみ出すようにして、摩擦攪拌接合操作を開始した。

【0044】その結果、回転治具は、タブ板としての鉄板に接触することなく回転したが、二つの供試材を接合して得られる接合材の接合開始側の端部には、若干のメタルの突出が認められた。また、接合材の頭部に対する引張試験の結果、引張強さは235MPaであり、継手効率は94%となり、健全であった。更に、接合部の断面マクロ組織の観察結果においても、接合頭部において亀裂やトンネルボアー等の欠陥は全く認められず、健全な接合部であることを認めた。また、接合開始側端部に認められた若干のメタル突出部は、グラインダーで仕上げることにより、外観上も健全な端面が得られた。

#### 【0045】比較例 1

板厚：4mm、板幅：300mm、長さ：5000mm、材質：6N01-T5のアルミニウム押出型材の2枚を供試材として、それらを幅方向に突き合わせてテーブル上に固定せしめた。また、それら供試材の接合開始側の端部には、板厚：2.5mm(供試材板厚の62.5%)、サイズ：50mm×50mmの鉄板を突き合わせてテーブル上に固定せしめた。

【0046】また、回転治具としては、肩径：15mm、



ピン長さ: 3.9mm、ピン径: 4mmのものを、回転数: 1500rpm、速度: 300mm/分の接合条件の下において、摩擦攪拌接合操作を開始した。なお、ピンを挿入した際の、ピン先端部における最先端位置と供試材端面との間の距離(x)は、2mmであった。

【0047】その結果、回転治具は、鉄板に接触することなく回転したものの、端部からのメタルの湧き出しが多く、外観上健全な接合部ではなかった。更に、接合部の断面マクロ組織の観察結果でも、接合頭部において、トンネルポーア等の多数の欠陥が存在することを認めた。

#### 【0048】比較例 2

板厚: 4mm、板幅: 300mm、長さ: 5000mm、材質: 6N01-T5のアルミニウム押出型材の2枚を供試材として用い、それらを幅方向に突き合せてテーブル上に固定せしめた。また、それら供試材の接合開始側の端部には、板厚: 3.5mm(供試材板厚の87.5%)、サイズ: 50mm×50mmの鉄板を突き合せて、同様に固定せしめた。また、回転治具として、肩径: 15mm、ピン長さ: 2.8mm、ピン径: 4mmのものを、回転数: 1500rpm、速度: 300mm/分の接合条件の下において摩擦攪拌接合操作を開始した。なお、ピンを挿入した際の、ピン先端部における最先端位置と供試材端面との間の距離(x)を3mmとした。

【0049】その結果、回転治具は、鉄板に接触することなく回転し、接合材の接合開始側端部から、外観上は健全な接合部であることを認めたが、接合部の断面マクロ組織の観察結果では、特に、接合材裏面側に接合不十分による亀裂があることを認めた。

#### 【0050】実施例 3

板厚: 4mm、板幅: 300mm、長さ: 5000mm、材質: 6N01-T5のアルミニウム押出型材の2枚を供試材として用い、それらを幅方向に突き合せて、摩擦攪拌接合のためのテーブル上に固定せしめた。また、それら供試材の突き合せ部の接合終了側の端部には、図4に示されるように、半径: 2mmの半円形状の凹所を削り抜いた板厚: 4mm(供試材板厚と同じ)、サイズ: 50mm×50mmの鋼板(材質: SS40)を、かかる凹所が突き合せ部に対向するようにして、且つ突き合せ部の延長線によって凹所が二等分されるように、供試材端面に当接せしめて、供試材と同様にテーブル上に固定せしめた。

【0051】また、回転治具としては、肩径: 17mm、ピン長さ: 3.9mm、ピン径: 4mmのものを、回転数: 1500rpm、速度: 500mm/分の接合条件の下において、摩擦攪拌接合操作を実施した。そして、かかる回転治具の接合方向における後方肩部が、供試材とタブ板との境目から2mmの長さでタブ板側に進んだところで、回転治具を引き抜き、摩擦攪拌接合操作を終了した。

【0052】かくして得られた2枚の供試材からなる接

合材に付着するタブ板を、木槌を用いて取り除いたところ、接合部の終端部に若干バリが生じた形態において割れ、接合材側には、そのような割れが何等至るものではなかった。そして、そのような接合材尾部の引張試験の結果、引張強さは198Mpa、継手効率は81%と健全であり、接合部の断面マクロ組織の観察結果でも、接合尾部において、亀裂やトンネルポーア等の欠陥は認められず、健全な接合部であった。なお、端部の若干のバリはグラインダーで仕上げることで、外観上も健全な端面とすることが出来た。

#### 【0053】比較例 3

板厚: 4mm、板幅: 300mm、長さ: 5000mm、材質: 6N01-T5のアルミニウム押出型材の2枚を供試材として、それらを幅方向に突き合せて、テーブル上に固定した。また、それら供試材の突き合せ部における接合終了側の端部には、凹陥深さ(y): 6mmであり、R部の半径: 2mmであるU字形状の凹所を削り抜いた、板厚: 4mm(供試材板厚と同じ)、サイズ: 50mm×50mmの鋼板(材質: SS40)をタブ板として用い、供試材端面に、図4に示される如く当接せしめた状態において固定した。

【0054】そして、回転治具として、肩径: 17mm、ピン長さ: 3.9mm、ピン径: 4mmのものを、回転数: 1500rpm、速度: 500mm/分の接合条件の下において、摩擦攪拌接合操作を実施した。なお、その際、回転治具の接合方向後方の端部が、2枚の供試材を接合してなる接合材と、それに当接せしめたタブ板との境目から、2mm程タブ板側に進んだところで、回転治具を引き抜き、摩擦攪拌接合操作を終了せしめた。そして、このようにして得られた接合材に付着するタブ板を、木槌を用いて取り除いたところ、接合材側で割れが発生してしまい、目的とする用途の製品に使用することの出来ないものとなった。

#### 【0055】実施例 4

板厚: 3.2mm、板幅: 100mm、長さ: 150mm、材質: 5454-Oのアルミニウム板材の2枚を供試材として用い、それら供試材を幅方向において突き合せて、摩擦攪拌接合のためのテーブル上に固定せしめた。また、それら突き合わされた供試材の接合終了側の端部には、図6に示されるように、幅(z): 15mm、凹陥深さ(y): 2.0mmの矩形形状の凹所が設けられてなる、板厚: 3.2mm(供試材板厚と同じ)、サイズ: 50mm×50mmの、供試材と同材質のアルミニウム板材からなるタブ板を、その凹所が供試材の突き合せ部に対向する如くして、供試材端面に当接せしめて、かかる供試材と同様に、テーブル上に固定せしめた。

【0056】そして、回転治具として、肩径: 15mm、ピン長さ: 3.0mm、ピン径: 4mmのものを、回転数: 1500rpm、速度: 250mm/分の接合条件の下において、摩擦攪拌接合操作を実施し、回転治具の接

合方向後方側肩部が、接合材とタブ板の境目から25mmだけタブ板側に進んだところで、回転治具を引き抜き、摩擦攪拌接合操作を終了せしめた。

【0057】かくして得られた接合材に付着するタブ板を木槌を用いて取り除いたところ、接合部の終端部分に若干のバリが生じた形態において割れ、接合材側には、何等割れに至るものではなかった。また、かかる接合材の尾部に対する引張試験の結果、引張強さは235MPaで、継手効率は94%と健全であり、接合部の断面マクロ組織の観察結果でも、接合尾部において、亀裂やトンネルポー等

#### 【0058】比較例 4

板厚：4mm、板幅：300mm、長さ：5000mm、材質：6N01-T5のアルミニウム押出型材の2枚を供試材として、それら供試材を幅方向において突き合せて、テーブル上に固定せしめた。また、それら供試材の接合終了側の端部には、幅(z)：25mm、凹陷深さ(y)：3mmの大きさの矩形的凹所を有する、板厚：4mm(供試材板厚と同じ)、サイズ：50mm×50mmの、供試材と同材質のアルミニウム押出型材からなるタブ板を当接せしめて、供試材と同様に、テーブル上に固定せしめた。また、回転治具として、肩径：17mm、ピン長さ：3.9mm、ピン径：4mmのものをを用い、回転数：1500rpm、速度：500mm/分なる接合条件の下において、摩擦攪拌接合操作を実施した。そして、かかる回転治具の接合方向後方側肩部が、接合材とタブ板の境目から15mmだけタブ板側に進んだところで、回転治具を引き抜くことにより、摩擦攪拌接合操作を終了せしめた。

【0059】このようにして得られた接合材にあっては、その接合端部からのメタルの湧き出しが多く、外観上健全な接合部ではなかった。更に、接合部の断面マクロ組織の観察結果でも、接合頭部において、トンネルポー等の多数の欠陥があることを認めた。

#### 【0060】実施例 5

板厚：4mm、板幅：300mm、長さ：5000mm、材質：6N01-T5のアルミニウム押出型材の2枚を供試材として用いて、それらを幅方向において突き合わせ、摩擦攪拌接合のためのテーブル上に固定せしめた。また、それら供試材の接合終了側端部には、図7に示されるように、板厚：4mm、サイズ：50mm×50mmの、供試材と同材質のタブ板を当接せしめて、供試材と同様に、テーブル上に固定せしめた。

【0061】また、回転治具としては、肩径：17mm、ピン長さ：3.9mm、ピン径：4mmのものをを用い、回転数：1500rpm、速度：500mm/分の接合条件の下において、摩擦攪拌接合操作を実施した。なお、回転

治具の回転は、最初は治具上から見て時計回りとした。そして、回転治具は、2枚の供試材を接合して形成される接合材とタブ板の境目からタブ板側に25mm進んだ位置で引き抜き、その後、かかる回転治具を反時計回りに逆回転せしめ、そして、接合材側の接合部で前記境目から10mm戻った位置に差し込んで、再度の摩擦攪拌接合をタブ板側に向かって実施し、そして、回転治具がタブ板上に至り、更に前記境目からタブ板側に20mm進んだ位置において引き抜くことにより、摩擦攪拌接合操作を終了せしめた。

【0062】かくして得られた接合材に付着せるタブ板を木槌を用いて取り除いたところ、かかる接合材における接合終端部に若干のバリが生じた形態において割れ、接合体側には何等の割れに至るものではなかった。また、接合材尾部の引張試験の結果、引張強さは200MPaで、継手効率は82%と健全であり、更に接合部の断面マクロ組織の観察結果でも、接合頭部において亀裂やトンネルポー等の欠陥は無く、健全な接合部であることを認めた。また、そのような接合材における接合端部の若干のバリは、グラインダーで仕上げることで、外観上も健全な端面を得ることが出来た。

#### 【0063】比較例 5

板厚：4mm、板幅：300mm、長さ：5000mm、材質：6N01-T5のアルミニウム押出型材の2枚を供試材として用い、それら供試材を幅方向に突き合せて、テーブル上に固定した。また、2枚の供試材の接合終了側の端部には、板厚：4mm、サイズ：50mm×50mmの、供試材と同材質のタブ板を当接せしめて、同様に固定した。そして、回転治具としては、肩径：17mm、ピン長さ：3.9mm、ピン径：4mmのものをを用い、回転数：1500rpm、速度：500mm/分の接合条件下において、摩擦攪拌接合を行い、供試材の突合せ部に沿って、回転治具を移動せしめると共に、更に突合せ部からタブ板上に至るまで、進行せしめた。なお、回転治具の回転は、治具上から見て時計回りとした。また、回転治具は、供試材とタブ板の境目からタブ板側に25mm進んだ位置で引き抜き、更にその後、反時計回りに逆回転せしめ、供試材側の接合部で前記境目から3mm戻った位置において、回転治具を再度差し込み、タブ板側に再度の摩擦攪拌接合操作を実施し、タブ板側に25mm進んだ位置で引き抜くことにより、摩擦攪拌接合操作を終了せしめた。

【0064】かくして得られた接合材に付着するタブ板を、木槌を用いて、実施例4と同様に取り除いたところ、接合材側で割れが発生してしまい、目的とする用途の製品として使用することの出来ないものとなった。

#### 【0065】

【発明の効果】以上の説明から明かなように、本発明に従う摩擦攪拌接手法によれば、接合開始端部や接合終了端部において健全な接合部端面が、タブ板の効果的

17

な使用によって、簡単に実現されることとなったのであり、また、そのようなタブ板の接合材からの取り外しも、簡単に且つ容易に行われ得るのであり、しかも、タブ板の取除き作業に基づくところの接合端部における欠陥の発生も、効果的に抑制乃至は防止せしめられ得て、品質の良好な接合材を有利に得ることが出来るのである。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の摩擦攪拌接合法を示す説明図である。

【図2】本発明に従う摩擦攪拌接合法の一つの形態を示す説明図である。

【図3】本発明に従う摩擦攪拌接合法において、接合されるべき二つの板状部材の突合せ部に差し込まれた回転治具のピンの位置を示す説明図であって、(a)及び(b)はそれぞれピン先端部の形状の異なる例を示す断面説明図である。

【図4】本発明に従う摩擦攪拌接合法の一つの形態たる接合終了端側の状態を示す説明図である。

【図5】本発明に従う摩擦攪拌接合法における接合終

18

了端側の板状部材とタブ板との当接形態を示す平面説明図であり、(a)及び(b)は、それぞれ、タブ板に設けられた凹所の異なる形態を示す説明図である。

【図6】図5に示されるタブ板とは異なる形状の凹所を有するタブ板を用い、それを二つの板状部材の接合終了端側の端面に当接した形態を示す平面説明図である。

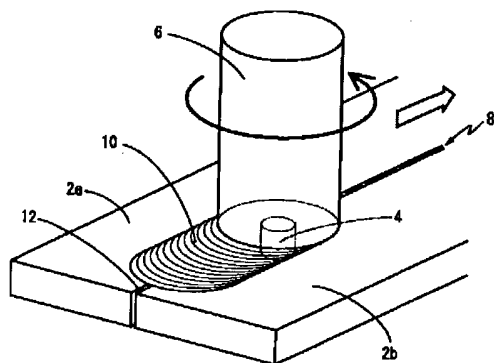
【図7】本発明に従う摩擦攪拌接合法の更に他の例を部分平面形態図として示す工程説明図である。

【図8】本発明に従う摩擦攪拌接合法により得られた接合材からタブ板を取り除き、その接合端部の処理の例を示す部分平面説明図である。

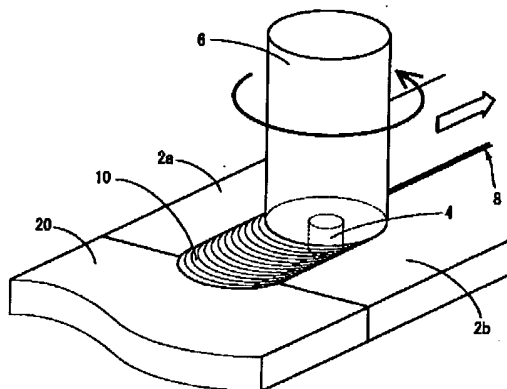
【符号の説明】

- 2 板状部材
- 4 ピン
- 6 回転治具
- 8 突合せ部
- 10 接合部
- 20, 30, 40 タブ板
- 32 凹所

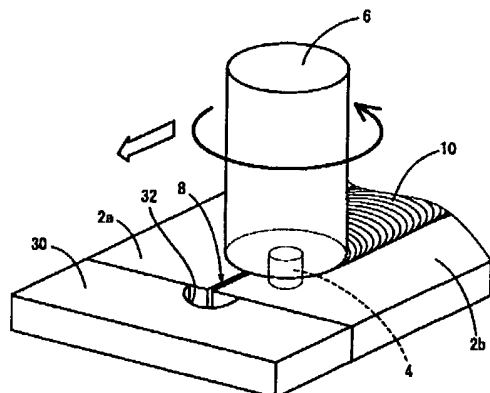
【図1】



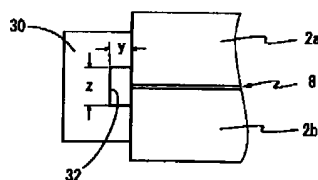
【図2】



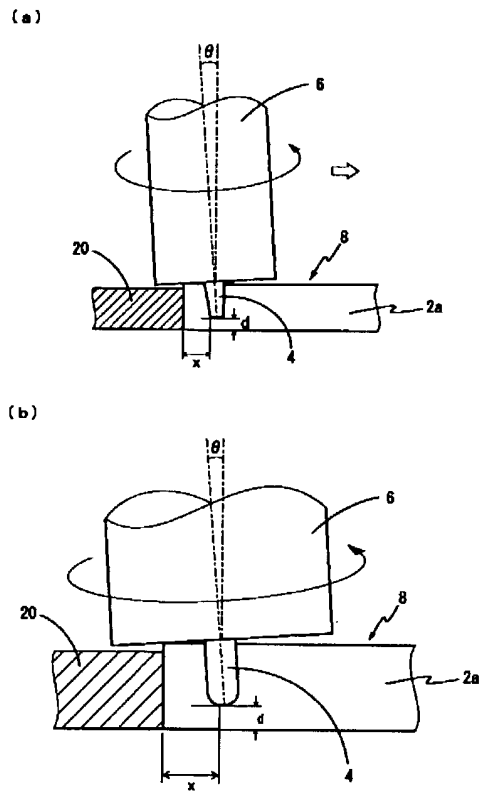
【図4】



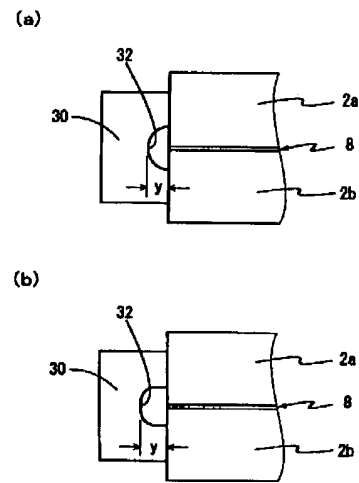
【図6】



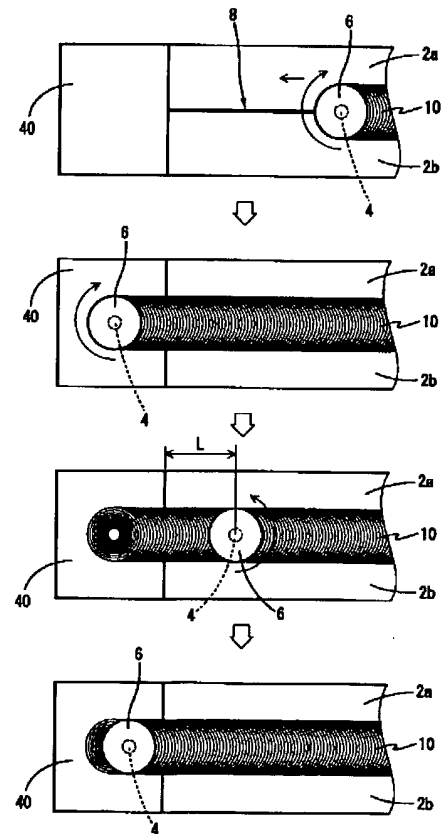
【図3】



【図5】



【図7】



【図8】

